La valeur du schéma cinématique en tant qu'artefact cognitif

The relevence of the kinematic scheme as a cognitive artefact

Jean-Pierre FROMENT

Institut National de Recherche Pédagogique
IUFM-UniMeca
Technopole de Château Gombert
60 rue Joliot Curie
13453 Marseille cedex 13, France.

Résumé

Les objets et les mécanismes sont très présents dans les enseignements technologiques. L'étude de leur fonctionnement suppose l'apprentissage de différents outils de modélisation. La question posée est de savoir à quelles conditions théoriques et méthodologiques il est possible de rendre compte de la valeur d'un langage technique du point de vue de sa fonction cognitive. Le dispositif expérimental effectue une comparaison entre deux situations qui abordent un problème identique, mais traité sous deux angles différents : dessin technique et schéma cinématique. Les résultats remettent en cause l'efficacité cognitive, attribuée au schéma cinématique.

Mots clés : *instrument sémiotique, sciences cognitives, épistémologie, cinématique.*

Abstract

Objects and mechanisms are present throughout technology education. The study of their operating process requires the didatic use of various models. At issue are the theoretical and methodological conditions under which evaluating the relevance of a technical language from the point of view of its cognitive functions is possible. To this end, two leaning situations focusing on the same problem but through two different media – technical drawing and kinematic diagram – were compared. Results question the cognitive efficiency habitually attributed to kinematic diagrams.

Key words : *semiotic instrument, cognitives sciences, epistemology, kinematic.*

Resumen

Los objetos y los mecanismos tienen gran importancia en la enseñanza tecnológica. El estudio de su funcionamiento supone el aprendizaje de diferentes herramientas de modelización. La pregunta planteada trata de establecer cuáles condiciones teóricas y metodológicas hay que tomar en cuenta para valorar un lenguaje técnico desde el punto de vista de su función cognitiva. El dispositivo experimental efectúa una comparación entre dos situaciones que abordan un problema idéntico, pero tratado bajo dos ángulos diferentes : dibujo técnico y esquema cinemático. Las conclusiones tienden a explicar en que función cognitiva atribuida por naturaleza a la herramienta gráfica estudiada es deficiente.

Palabras claves : *instrumento semiótico, ciencias cognitivas, epistemología, cinemática.*

1. INTRODUCTION

Les objets fabriqués et les mécanismes plus ou moins complexes du point de vue de leur fonctionnement sont très présents dans les enseignements à caractère technologique. Ils constituent autant d'artefacts, au sens anthropologique du terme, qui s'offrent à la connaissance. L'initiation des élèves à l'utilisation des outils et modèles associés à l'étude de ces objets et systèmes fait partie des objectifs visés par l'enseignement de la technologie au lycée dès la classe de seconde. Ils se trouvent en bonne place dans les programmes, les objectifs, les recommandations, les manuels. En introduction à un ouvrage de mécanique industrielle l'invitation est claire : *« l'enseignement de la mécanique se doit de développer chez les élèves l'aptitude à conduire avec rigueur l'élaboration et le traitement de modèles associés à la réalité physique »* (Ballereau et al., 1994, p. 11).

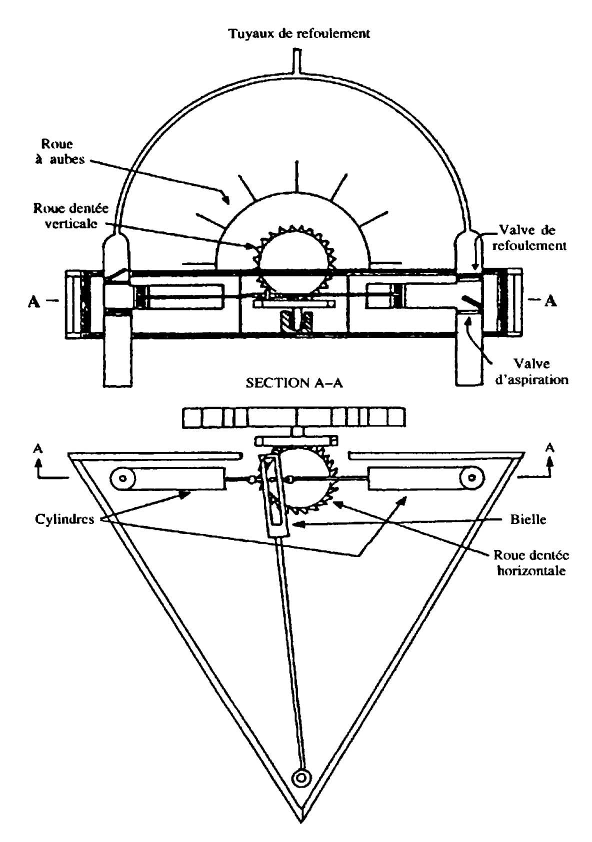
Ces substituts abstraits intègrent alors des hypothèses réductrices et un contrat de communication (Lebeaume, 1999). Il s'agit là d'artefacts cognitifs comme le définit Norman, c'est-à-dire « *d'outils artificiels conçus pour conserver, exposer et traiter l'information dans le but de satisfaire une fonction représentationnelle* » (Norman, 1993, p. 18).

L'action de l'homme est médiatisée par des systèmes de signes que Vygotski (1934) a désignés sous le terme « d'instruments psychologiques » tels que le langage, les schémas, les diagrammes, les cartes, les plans, etc., socialement élaborés et socialement transmis. On s'intéressera en particulier aux graphismes susceptibles de traduire la fonction technique d'un mécanisme, c'est-à-dire l'action interne au produit, entre ses constituants, choisie par le concepteur, dans le cadre d'une solution pour assurer des fonctions de service[1]. Et ceci dans une perspective autant que possible instrumentale, impliquant que « *les outils graphiques enseignés ne soient pas ramenés à de simples formalismes constitués en objets de savoir à acquérir, mais que les élèves puissent les faire fonctionner dans des situations leur donnant du sens* » (Andreucci et al., 1996, p. 184). En d'autres termes, il s'agirait de rendre compte de la valeur d'un « instrument » particulier en tant qu'artefact cognitif.

2. ÉLABORATION DE LA PROBLÉMATIQUE

Les graphismes techniques occupent une grande place dans les enseignements technologiques ; ils ne vont pas sans difficultés. Un ouvrage (Benielli et al., 1996) destiné aux professeurs et aux élèves de seconde montre à quel point leur diversité est grande. Il n'est pas sans intérêt de consulter les définitions qu'en donnent les auteurs, en particulier en ce qui concerne le dessin d'ensemble[2] et le schéma cinématique[3]. En accordant au dessin d'ensemble un rôle essentiel dans la traduction du fonctionnement d'un mécanisme, on s'adresse sans nul doute à un niveau d'expertise déjà bien établi. On peut en effet se demander dans quelle mesure les élèves vont pouvoir, devant un dessin d'ensemble entendu comme modèle, expliquer le fonctionnement du mécanisme ainsi représenté. Un exemple permettra d'introduire le sujet. Bien que fort différent de l'objet technique retenu pour l'expérimentation, il présente à la fois une illustration des difficultés qui peuvent être rencontrées dans l'analyse de la cinématique à partir du dessin, et une ouverture sur l'histoire des sciences et des techniques. Il s'agit d'un système de pompe dont Hill (1997) fait état à partir du grand livre des machines d'al-Jazari, établi à Digar Bakr en 1206 (figure 1). Aujourd'hui, 800 ans plus tard, on retrouve le même principe dans un type de « scie sauteuse » commercialisé, par ailleurs enseigné au lycée, ce qui montre à quel point les modes de pensée font l'objet d'un développement historique lié à l'invention et à l'accumulation dans la

mémoire sociale de techniques intellectuelles et d'instruments psychologiques, comme le suggère Rochex (1997) ou encore Vérin (1993).



Ce mécanisme de pompe [l'invention de la pompe à piston est attribuée à Ctésibios au III[e] siècle avant J.-C. (Laurier, 1995)] est constitué d'une roue à aubes entraînant par engrenage une roue horizontale qui actionne simultanément deux pompes, l'une d'aspiration, l'autre de refoulement par l'intermédiaire d'un système manivelle et bielle. L'élément essentiel est l'emploi de tuyaux d'aspiration, le principe de double action, la transformation d'un mouvement rotatif en mouvement alternatif. Le fonctionnement est le suivant : quand la roue horizontale tourne sous l'effet de la roue à aube, le pivot fixé sur le flan faisant office de manivelle agit à l'intérieur du coulisseau pour donner un mouvement de balancier à la bielle, entraînant ainsi les pistons en aspiration et refoulement. Ce dispositif étonnant montre en substance à quel point l'apport des techniciens et des scientifiques arabes a contribué de manière considérable au progrès de la technologie moderne. L'apparition du système bielle-manivelle est souvent située postérieurement (pour l'Encyclopædia Universalis il s'agit du début du XV[e] siècle).

Figure 1 : **Mécanisme de pompe à piston (HILL, 1997, p. 38)**

C'est surtout du point de vue des différents niveaux d'analyse que ce dessin est intéressant. Un « novice » n'établira pas si facilement la correspondance de vues pourtant indispensable à l'analyse fonctionnelle, il éprouvera des difficultés pour décrire le fonctionnement. Au niveau des détails, il pourra y avoir confusion entre le tuyau de refoulement et le même double trait qui sert à représenter le « carter » en vue de dessus. De la même manière, la fonction de la bielle ne s'interprète pas aussi aisément, d'autant que le tenon de la roue dentée horizontale, déjà à peine visible, se trouve dans le prolongement des tiges de piston. L'interprétation du fonctionnement du système n'offre par contre aucune difficulté à des yeux plus expérimentés : un « expert » se trouve ici sur un autre plan que celui de la représentation géométrique familière, au-delà du *« réalisme naïf des propriétés spatiales »*[4] (Bachelard, 1996, p. 5) qui laisserait deviner le besoin de poursuivre l'étude à d'autres niveaux, d'en savoir plus du point de vue des performances de la machine, en diversifiant les modèles. En complément à cette forme de représentation, on peut imaginer qu'il puisse exister une schématisation plus précisément destinée à traduire le fonctionnement de la pompe, un schéma explicatif (Vezin, 1986). C'est justement le propre du schéma cinématique : si on en connaît les règles d'écriture, et si la simple lecture du dessin ne suffit pas, alors la réalisation du schéma cinématique devrait amener un changement de point de vue et entraîner une analyse beaucoup plus fine en termes de mobilités caractéristiques du dispositif.

À partir de cet exemple, nous tenons là les trois principales dimensions autour desquelles la problématique va prendre place : la résolution d'un problème de cinématique ; le niveau de compétence avec au moins deux modalités : novice et expert ; l'outil graphique sous les deux formes : dessin et schéma. La question qui se pose est alors la suivante : dans un contexte d'enseignement, le formalisme du schéma cinématique a-t-il valeur d'artefact cognitif ?

3. CADRE THÉORIQUE ET EXPÉRIMENTAL

Dans le but d'essayer de comprendre ce que sont nos connaissances, Bastien (1997) distingue deux cadres d'apprentissage : par induction ou par enseignement. Alors que l'essentiel des travaux concernant l'apprentissage en psychologie cognitive porte sur l'apprentissage par induction *(c'est-à-dire sur des situations dans lesquelles le contenu à apprendre n'est pas explicitement donné au sujet)*, l'intérêt de recourir à « l'apprentissage par enseignement » tient au fait qu'une bonne partie de l'activité cognitive est liée à des acquisitions de ce type et que, dans beaucoup de situations, la capacité d'accomplir une tâche dépend, de

manière critique, de l'environnement et des artefacts que la société a créés (Norman, 1993). C'est avec l'hypothèse suivante, formulée par Bastien, que les choses se précisent : « *apprendre par enseignement consiste à transformer l'organisation rationnelle des connaissances à apprendre en une organisation fonctionnelle, la transformation s'effectuant au moyen de la résolution de problèmes* » (Bastien, 1997, p. 49). La perspective théorique[5] qui consiste à poser l'acquisition des connaissances sous cet angle constitue dès lors un cadre de recherche opérationnalisable.

Le dispositif adopté se propose de mettre en scène ces deux types d'organisation des connaissances pour rendre compte du processus de transformation à travers l'analyse de protocoles individuels. Cette phase expérimentale sera précédée d'une situation initiale (test) consistant à décrire le fonctionnement d'un mécanisme à partir du dessin d'ensemble, sans autres éléments. Le niveau d'expertise qui en découlera sera d'autant plus pertinent que c'est ce même problème qui sera repris dans le cadre de l'expérimentation, et que l'ensemble des productions pourra être classé en catégories bien distinctes.

	Analyse de la fonction technique d'un mécanisme	
	1. Situation de test initial	2. Situation expérimentale
Description :	Dessin d'ensemble (format A3) de la partie opérative d'un sécateur électronique avec la nomenclature des pièces.	Situation construite sur ordinateur, réalisée avec le langage HyperTalk. Dessin d'ensemble.
Tâches :	Expliquer le fonctionnement du mécanisme en partant du dessin d'ensemble : réaliser un croquis ou un schéma (à main levée) en complétant avec une explication orale.	Réaliser le schéma cinématique à l'écran. Pour ce faire, les sujets disposent du dessin d'ensemble, et d'un programme donnant accès à un ensemble de documents.
Observables :	Productions graphiques et commentaires.	Chronique détaillée des procédures de résolution. « Film » des différentes étapes d'élaboration du schéma. Schémas réalisés.
Sujets :	87 élèves de seconde et première de lycée qui suivent un enseignement technologique.	32 élèves de première choisis en fonction du test.

Tableau 1 : **Planification et caractéristiques du dispositif expérimental**

Ces deux situations présentent à la fois une différence (l'une fait appel à des capacités générales, l'autre à des connaissances spécifiques) et une analogie (analyse du fonctionnement d'un même objet technique). Mais c'est tout un ensemble d'éléments intégrés à la situation expérimentale qui va permettre de nous orienter en direction de la psychologie cognitive.

Le principe consiste à apporter, en même temps que le problème, un ensemble de données caractéristiques du domaine en respectant les décompositions telles qu'elles figurent dans les situations d'apprentissage. C'est l'aspect rationnel qui présente à la fois des définitions et des tâches plus simples comme la constitution des *classes d'équivalence cinématique*. L'espace du problème englobe alors des éléments de différente nature pouvant être organisés par les sujets en fonction des procédures qu'ils adopteront (aspect fonctionnel) pour apporter la solution. La situation expérimentale regroupe et met à disposition les moyens utilisés dans les étapes traditionnelles d'apprentissage du schéma cinématique, pour autant ce n'est ni un *multimédia* au sens d'une combinaison de textes, de dessins, de sons, d'animations et d'éléments vidéographiques, ni un *TP classique* étroitement guidé par un polycopié que la littérature anglo-saxonne qualifie parfois de « cookbook labwork ». Il s'agirait plutôt d'un fonds de connaissances, ensemble d'éléments susceptible d'être organisé dans des relations telles que chacun concourt au fonctionnement et à la signification des autres (Poitou & Chabot, 1991). C'est par ailleurs la tendance que l'enseignement voudrait voir se développer : amener les élèves à exploiter une base d'informations structurées qui puisse prendre des formes diverses (Jourdan, 1996).

La prise en compte des variations intra-individuelles se rapporte à l'hypothèse suivante : les sujets réaliseront, au cours de la seconde phase, une production de meilleure qualité intrinsèque que le test initial, du fait d'une recomposition de l'activité lors du changement d'instrument. Cette hypothèse est fondée sur la finalité analogue des tâches à réaliser, d'autant qu'elles portent sur le même objet et que les élèves poursuivent entre temps leurs apprentissages, notamment en ce qui concerne l'étude des parties opératives, et en particulier le schéma cinématique comme « outil » propre à faciliter l'analyse fonctionnelle des mécanismes. Cette hypothèse traduit les attentes spontanées des enseignants concernés, pour lesquels le transfert de connaissances est la raison d'être des dispositifs de formation. *A contrario,* s'il n'en était pas ainsi, on serait en mesure d'avancer des explications. L'intérêt d'étudier un tel apprentissage « par instruction » est en partie de répondre à une alternative : ou bien le transfert joue pleinement son rôle, ou bien il en va autrement. Dans le premier cas la capacité d'adaptation à des situations diversifiées domine, alors que l'autre cas met l'accent sur un mécanisme qui viendrait plutôt contrarier l'acquisition de connaissances.

La situation expérimentale permettra de recueillir les protocoles individuels et de s'engager dans une approche comparative et clinique (Leutenegger, 2000), tant sous l'angle de la perspective théorique proposée par Bastien qu'en ce qui concerne l'approche cognitive des représentations (Ehrlich et al., 1993) et des instruments contemporains (Rabardel, 1995).

Plusieurs composantes entrent en synergie. Avec un certain humour Mendelsohn (1996) propose une recette sous forme d'ingrédients à combiner : une pincée de théorie de l'expertise qui permettra de décrire comment les connaissances expertes et les savoir-faire d'un sujet bien entraîné sont organisés en mémoire ; une dose de théorie des processus d'acquisition pour comprendre comment ce même sujet a pu passer du stade de novice à celui d'expert ; une mesure pleine de théorie de l'intervention pour modifier le cours de ces processus et en améliorer le fonctionnement. Ce à quoi il convient d'ajouter le développement historique lié à l'invention et à l'accumulation dans la mémoire sociale de techniques intellectuelles et d'instruments psychologiques (Rochex, ibid.) Ces éléments viendront, pour une part du moins, alimenter la discussion.

4. DESCRIPTION DU TEST INITIAL

L'objet technique est un « sécateur électronique », à la différence du sécateur usuel, c'est un système. Il se présente sous la forme d'un corps en matière moulée intégrant un mécanisme électro-mécanique relié à une batterie portative et à un dispositif électronique. C'est un système automatisé dans la mesure où il se décompose en une partie commande (traitement de l'information) et une partie opérative (exécution des opérations). Plus précisément, c'est un système asservi qui permet d'obtenir l'action voulue sur la matière d'œuvre (sarments de vignes, branches de vergers).

Le test initial porte sur l'étude du dessin d'ensemble qui représente sous plusieurs vues la partie opérative de cet objet avec la nomenclature des pièces (figure 2). L'étude proposée est une analyse de la fonction technique, c'est-à-dire de l'action entre les constituants. La tâche prescrite consiste à trouver un moyen simple et efficace pour bien montrer le fonctionnement du mécanisme. Cette consigne est assortie du commentaire suivant : *« comme tout dessin d'ensemble, celui-ci indique la forme de chacune des pièces jusqu'aux plus petits détails, mais en lui-même il ne rend pas bien compte du fonctionnement, il s'agit donc de trouver un moyen pour bien montrer comment ça marche, quel est le fonctionnement de ce mécanisme ».* Quel moyen ? Un dessin, un croquis à main levée qui sera complété d'explications (Caverni, 1988).

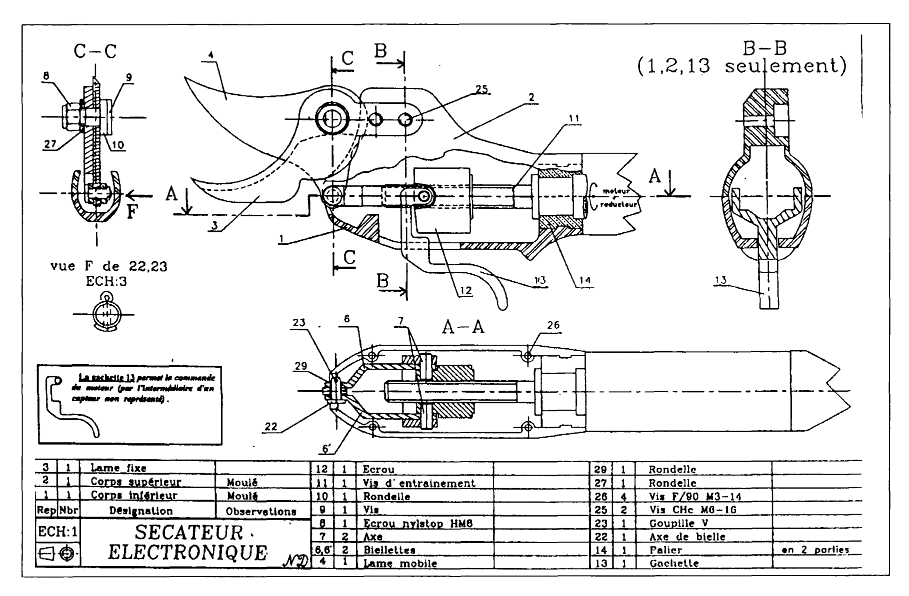


Figure 2 : **Dessin d'ensemble de la partie opérative du sécateur électronique (ici à l'échelle 1/3)**

Cette reproduction du dessin d'ensemble à une échelle beaucoup plus réduite qu'en réalité n'a qu'une valeur indicative, plusieurs détails n'apparaissant pas. Ceci simplement pour montrer quelques aspects du signifiant auquel il a été fait appel. Les professeurs ont l'habitude de dire que l'activité de lecture de dessins est le plus souvent difficile. À première vue, le dessin paraît assez simple, les pièces ne sont pas très nombreuses, les lames, le corps de l'appareil sont bien visibles, ce qui l'est moins c'est la partie centrale, la correspondance des vues est nécessaire pour discriminer certaines pièces, notamment la vis d'entraînement et les biellettes. Sur la vue de face, en effet, ces deux parties se confondent dans la mesure où elles sont dans le même prolongement, et ceci d'autant plus que le repère des biellettes n'y figure pas. La vue de dessus (coupe AA) apporte la solution, encore faut-il s'y référer en cours d'analyse. Ce qui peut également prêter à confusion, c'est la position centrale de la gâchette dans le dessin, alors qu'elle occupe une place secondaire dans la chaîne cinématique. C'est la raison pour laquelle elle fait l'objet d'un encart précisant sa fonction, attirant ainsi l'attention sur le fait que le sécateur est muni d'un moteur comme cela est indiqué sur la vue de face et illustré par une flèche indiquant le mouvement de rotation au niveau du palier.

Les réponses sont demandées sous la forme d'une production graphique (à main levée) et de commentaires (verbalisations consécutives). Le test se déroule au cours de séances de travaux dirigés de technologie,

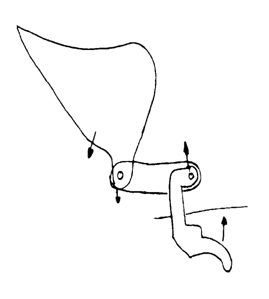
en passations individuelles d'une durée de 15 mn environ. Dans la plupart des cas, une verbalisation préalable est sollicitée, pour s'assurer que la consigne a bien été comprise. Les sujets disposent simplement du dessin d'ensemble (échelle 1, format A3), de feuilles, crayons et d'une gomme. Une présence discrète durant le déroulement a permis d'intervenir à nouveau pour rappeler la consigne lorsque le besoin s'en est fait sentir.

5. TYPOLOGIE DES RÉPONSES AU TEST INITIAL ET PREMIÈRES ANALYSES

L'ensemble des réponses recueillies (dessins et verbalisations) a fait l'objet d'examens attentifs, en vue de constituer une typologie. Quatre types bien distincts ont ainsi été repérés. Elle est exhaustive en ce sens qu'un premier classement a été opéré par deux personnes différentes avec un degré d'accord important, et que les cas de désaccord ont été résolus par une décision commune sans qu'il ait été besoin d'une cinquième catégorie plus hétéroclite.

5.1. Type 1 : simplification

Tout se passe comme si le mécanisme était ramené à un objet mieux connu, le sécateur manuel (figure 3). Les sujets expriment une relation directe entre la pression sur la gâchette et le mouvement de la lame, sans se préoccuper du reste, ce qui n'est pas sans rappeler les résultats de Lafontaine et al. (1990) pour des problèmes d'hydrodynamique avec le raisonnement local conduisant certains sujets à restreindre les effets des actions produites à l'endroit où on agit, ou à proximité immédiate.



Le schéma montre la gâchette et la lame mobile, reliées par une pièce intermédiaire. Ces trois éléments sont fidèles au dessin de définition, la forme de la gâchette, la forme de la lame et la forme de la biellette se retrouvent parfaitement. Le trait horizontal marque la limite inférieure du corps. Les flèches caractérisent le fonctionnement de l'ensemble. Les deux flèches de droite indiquent un déplacement vers le haut de la gâchette et de la barre de liaison, qui en même temps bascule et ferme la lame mobile, ce qu'indiquent les flèches tournées vers le bas.

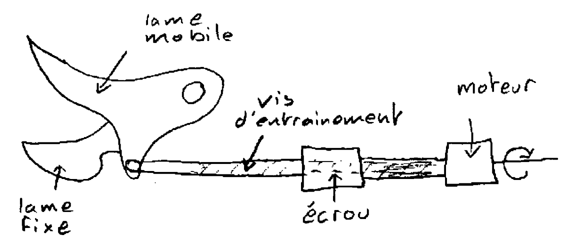
Figure 3 : **Production graphique du type 1 « simplification »**

L'élaboration de représentations anthropologiques est encouragée par la parenté entre les caractéristiques de l'objet et la familiarité du fonctionnement. Mendelsohn (1996) trouvant des résultats similaires avait montré à quel point des sujets peuvent éprouver des difficultés pour se décentrer et distinguer les caractéristiques de leur fonctionnement propre de celles du fonctionnement du système.

Le type de comportement caractérisant cette classe peut être expliqué par la nature même de l'objet (Richard, 1992) qui entre dans deux catégories distinctes, l'une, commune, dans laquelle tous les sécateurs se ressemblent plus ou moins, l'autre, plus nouvelle, dans laquelle tout est à reconsidérer. Dans le premier cas, l'expérience passée, ou du moins la connaissance empirique, vient déterminer une série d'attentes quant à l'apparence et au fonctionnement de l'objet : pour sectionner un rameau, c'est la force du poignet qui est en cause ; il s'agirait là, en somme, d'une modalité de capture « écologique » des propriétés de l'objet (Bideaud & Houdé, 1989 ; Houdé, 1992) tributaire des contraintes contextuelles physiques et sociales. L'objet sécateur manuel constituerait ainsi un prototype marqué par des corrélats d'attributs descriptifs, fonctionnels, positionnels. Dans le second cas, le mécanisme n'a plus rien à voir, il se caractérise tout autrement : un instrument assisté, pour tailler au-delà des conditions habituelles, en exploitation agricole, d'une technologie sophistiquée, etc. Des nuances sont apparues, elles semblent indiquer à la fois des différences d'approches et une homogénéisation assez forte quant au résultat. En effet, certains vont droit au but sans marquer d'hésitation, d'autres relèvent des contradictions entre les mouvements qui résultent de la solution envisagée, d'autres encore s'interrogent sur la présence du moteur. Les verbalisations contribuent aux contrastes, mais jamais au point de remettre en question le type d'analyse effectué. En résumé, c'est bien la simplification qui paraît caractériser ce groupe, c'est autour d'un référent simplifié que les sujets ont traité le problème.

5.2. Type 2 : approximation

Ce qui semble pouvoir caractériser ce type de réponses, c'est à la fois un point de vue d'ensemble et une analyse approximative du fonctionnement du dispositif. Par point de vue d'ensemble, il est seulement question de dire que les principaux éléments du mécanisme sont pris en compte, ce qui n'était pas le cas précédemment. L'approximation qualifie une analyse sommaire du fonctionnement (figure 4).



Le schéma donne un ensemble plus complet des différents éléments du mécanisme, chacun étant dénommé. Le mouvement de rotation du moteur est indiqué par une flèche, le principe de transformation de mouvement est indiqué de manière approximative.

Figure 4 : **Production graphique de type « approximation »**

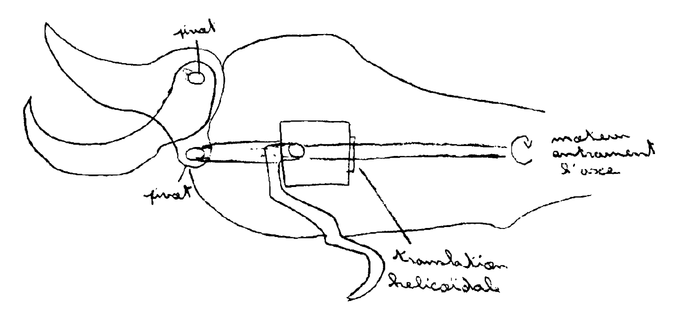
Si, à la différence du groupe précédent, les éléments apparaissent en plus grand nombre, ils ne sont pas pour autant disposés de telle sorte qu'ils rendent compte du fonctionnement. L'erreur la plus fréquente consiste à relier directement le moteur à la lame mobile par une seule et même vis d'entraînement, ce qui rend les choses impossibles. On retrouve ici aussi des différences d'approches, certains se rendent compte des contradictions entre les mouvements qui résultent de la solution envisagée, d'autres moins ou pas du tout. Le plus souvent, il s'agit d'une esquisse du sécateur, les pièces sont représentées dans leurs formes et reliées les unes aux autres de manière plus ou moins évidente. Pour ce qui est du fonctionnement du mécanisme, un questionnement complémentaire est, la plupart du temps, nécessaire. Dans tous les cas, ce qui est indiqué révèle une analyse imparfaite du fonctionnement du mécanisme.

À partir des travaux de Rabardel (1995), deux interprétations peuvent être avancées. La première tient au concept de *représentation préexistante*. Il y aurait réutilisation par les sujets de représentations d'actions construites à l'occasion de tâches très différentes, du type obtention de l'effet direct comme avec une perceuse ou une visseuse : c'est la rotation du moteur qui produit l'effet voulu, sans qu'il y ait transformation de la nature du mouvement. La seconde interprétation tient à une *incomplétude de la représentation* qui peut revêtir deux acceptions. La première désigne ce qui n'est pas encore élaboré chez un sujet débutant et qui est destiné progressivement à disparaître, c'est-à-dire une vision sommaire, peu fondée sur l'analyse. Plusieurs indications convergent dans ce sens. Les schémas produits relient l'entrée du mouvement et la sortie, non pas tant pour expliquer le mécanisme de transformation, mais pour signifier qu'il existe *quelque chose* entre les deux entités, mais que le dessin se révèlerait insuffisant à qualifier avec précision. Même dans le cas où les sujets font part de certaines contradictions dans les explications verbales, cela ne remet pas en cause pour autant la production graphique, comme s'il était entendu que l'on ne pouvait qu'en rester à un niveau superficiel. À l'opposé, la seconde acception est présentée comme une caractéristique des représentations pour l'action en situation d'activité avec instrument : *« il*

s'agit d'une incomplétude construite, recherchée, gérée et maintenue, en tant que telle, par un sujet compétent, voire expert, en tant que moyen de gestion de la complexité des situations » (Rabardel, 1995, p. 160). Bien que cette explication soit assez peu probable, ici précisément, mentionnons-la pour ce qu'elle indique quant à l'importance de la construction et des contenus de la représentation pour l'action.

5.3. Type 3 : résolution

Le problème peut être considéré comme résolu (figure 5). Les productions (graphiques et verbales) qui entrent dans ce cadre répondent à la consigne, elles informent sur le fonctionnement du mécanisme, bien que des nuances apparaissent dans la précision. Les graphismes peuvent varier d'un schéma de principe à un schéma cinématique, en passant par des formes d'expression moins conventionnelles.



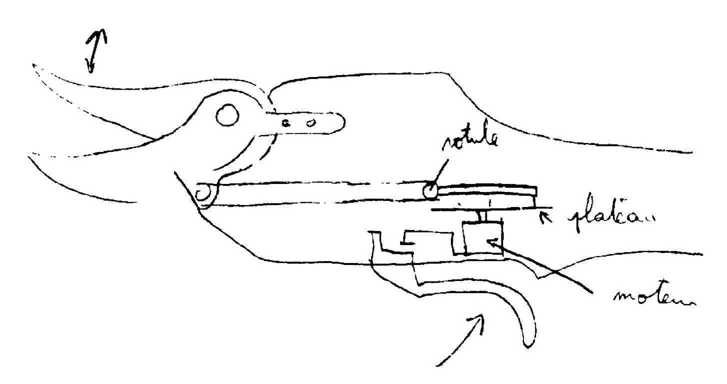
Le fonctionnement du sécateur est expliqué, d'une part en ce qui concerne le type d'entraînement, d'autre part du point de vue de la transformation opérée. La nature des principales liaisons est indiquée. Le doute qui pourrait subsister quant à la pièce qui relie écrou et lame mobile est levé dans le cadre de la verbalisation.

Figure 5 : **Production graphique de type « résolution »**

Rares sont les cas pour lesquels le problème peut être considéré comme entièrement résolu. Une certaine latitude est laissée quant au degré de précision, entre une analyse envers laquelle rien ne serait à ajouter et une forme qui s'en approche, il existe certes des nuances qui relèvent d'une plus ou moins grande habileté et qui ont leur importance, mais dont on peut considérer, à ce niveau, qu'elles entrent l'une et l'autre dans la même catégorie. Les différentes productions de cette catégorie fournissent une explication du mécanisme, au moins en ce qui concerne le principe et l'organisation des différentes parties entre elles.

5.4. Type 4 : interprétation

Ce type de réponse se caractérise par des solutions originales, mais qui s'écartent des données et donc du dessin de définition (figure 6). Les solutions proposées sont de nature différente, certaines pourraient être adoptées dans un esprit d'étude de projet. D'autres semblent relever d'une compréhension erronée du dessin donnant lieu à une interprétation particulière.



C'est un mécanisme original qui est proposé, il s'agit d'un système à manivelle actionné par le moteur placé dans l'axe vertical, le schéma montre clairement de quoi il s'agit, jusque dans le détail de la gâchette permettant la commande du moteur. Ce schéma présente un contraste entre la précision de certains détails (lame fixe, lame mobile, forme du corps) et l'interprétation du mécanisme lui-même.

Figure 6 : **Production graphique de type « interprétation »**

Ce mécanisme n'a rien à voir avec le dessin d'ensemble, mais il pourrait fonctionner. Dans l'ensemble, les solutions apportées relèvent d'interprétations à différents niveaux. Il peut s'agir du tracé lui-même, ou d'une nouvelle élaboration. Tout se passe comme si le sujet se laissait entraîner soit par une lecture erronée, soit par un excès d'originalité. Dans le premier cas certains contours de pièces ont été interprétés comme des courroies, dans le second cas (comme ici, figure 6) c'est plus nettement une solution originale qui a été proposée à la place d'une analyse. Néanmoins, ces réponses se caractérisent bien par une interprétation.

Entre la fonction théoriquement dévolue au dessin d'ensemble (montrer le fonctionnement d'un mécanisme) et ces résultats, les écarts sont grands, ce qui incite à en faire l'analyse en référence à la définition psychologique de la notion d'instrument, à la fois artefact (matériel ou symbolique) et schèmes d'utilisation associés *« pour les sujets, un artefact s'enrichit des situations d'action où il a été inséré circonstanciellement,*

singulièrement en tant que moyen de leur action » (Rabardel, 1995, p. 119). Or, précisément, on peut penser que l'expérience acquise par les élèves, du point de vue de la fonction attribuée au dessin d'ensemble, est encore faible, dans la mesure où ils sont concernés par une progression qui les amènent d'abord à des activités d'analyse et de description : repérer les différents éléments en présence dans un dessin, isoler une pièce d'un ensemble, se représenter d'une certaine manière les différentes pièces qui constituent le mécanisme. Distinguer et discriminer en quelque sorte ; mais pas toujours et en tout cas pas seulement analyser le fonctionnement du mécanisme. Avec quelles conséquences ? Quels en sont les effets sur l'activité du sujet ? (question que pose Rabardel, 1995). Peut-on considérer que l'artefact instrumentalisé de cette manière structure la tâche des sujets en posant de nouveaux problèmes, comme le suggère Payne (1991) ? Compte tenu de ce qui vient d'être dit, si on considère que c'est l'analyse et la discrimination des différentes pièces qui l'emportent, toutes n'ont pas le même relief, si les lames du sécateur se distinguent nettement, ce n'est pas le cas de la partie dénommée « écrou » qui ressemble si peu à l'image que l'on s'en fait habituellement tout en ayant un rôle essentiel dans le mécanisme. Le dessin d'ensemble constituerait ainsi une sorte d'épure indiquant les propriétés essentielles de l'objet (un sécateur actionné par un mouvement rotatif), le reste étant plus incertain. Les différents traits, éléments et symboles qui constituent le dessin n'ayant pas tous le même statut, certains étant moins évidents que d'autres, c'est ce qui a pu inciter des élèves à faire preuve de plus ou moins d'imagination dans l'interprétation. Ce serait par exemple le cas lorsque le trait de contour d'une pièce est pris pour une courroie. Ou encore lorsque la forme carrée qui figure l'écrou central est analysée comme une sorte de « boîte noire » enfermant un mécanisme dont certains sujets peuvent penser que le but de l'activité est d'imaginer ce qu'il pourrait être, ce qui donne des réponses de type pignon / roue dentée ou cardan. Si cela devait se confirmer, et comme le suggère par ailleurs Rabardel, on verrait à quel point des langages sémiotiques ne sont pas seulement des instruments de la connaissance (des instruments cognitifs), mais des instruments psychologiques qui médiatisent la relation du sujet avec lui-même et avec les autres. Ici, l'action du sujet semble se dérouler sur deux plans : discriminer les éléments qui peuvent l'être sans faute, pour le reste imaginer comment pourrait fonctionner cet objet si particulier qui ne ressemble en rien à un sécateur manuel.

6. RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES, PONDÉRATION DES CATÉGORIES

Le test initial a été proposé au cours de l'année 1997-1998, à un effectif de 87 élèves de seconde et de première de lycée suivant un enseignement technologique. En seconde, il s'agissait de l'option TSA (Technologie des Systèmes Automatisés), en première, soit de l'option technologie industrielle dans la filière scientifique (S-OTI), soit de la filière sciences et technologies industrielles (STI) option électrotechnique. Au total, cet effectif a concerné quatre classes, deux de seconde et deux de première, l'âge des élèves allant de 15 à 18 ans. Un premier classement de ces résultats a été effectué (tableau 2).

Typologie	Simplification	Approximation	Résolution	Interprétation	**Total**
Effectifs	28	34	11	14	**87**
%	32,2	39,1	12,6	16,1	**100**

Tableau 2 : **Répartition des effectifs en fonction des différents types d'analyse du dessin technique**

Avec seulement 12,6 %, peu d'élèves ont résolu le problème de manière satisfaisante ; 39,1 % ont procédé par approximation, et près d'un tiers par simplification. La part de l'interprétation n'est pas non plus négligeable. Ces premiers résultats indiquent une réelle difficulté à analyser un dessin d'ensemble du point de vue de la fonction technique du mécanisme représenté. On peut se demander maintenant ce qu'il en est par niveau de formation (tableau 3).

Typologie	Simplification	Approximation	Résolution	Interprétation	**Total**
Élèves de seconde	14 **32,6 %**	17 **39,5 %**	2 **4,6 %**	10 **23,3 %**	**43** **100 %**
Élèves de première	14 **31,8 %**	17 **38,6 %**	9 **20,5 %**	4 **9,1 %**	**44** **100 %**

Tableau 3 : **Analyse du dessin en fonction du niveau des élèves**

Les résultats changent peu en ce qui concerne les deux premières catégories, par contre, ils expriment une nette amélioration en première qui se traduit à la fois par une résolution plus fréquente du problème posé, et une diminution de l'interprétation erronée des données graphiques. À un même niveau, qu'en est-il pour des filières différentes (tableau 4) ?

	Simplification	Approximation	Résolution	Interprétation	Effectifs & %
Effectifs 1re S option technologie	7 (38,9 %)	7 (38,9 %)	1 (5,5 %)	3 (16,7 %)	18 (100 %)
Effectifs 1re Sciences et techno. industrielle	7 (26,9 %)	10 (38,5 %)	8 (30,8 %)	1 (3,8 %)	26 (100 %)

Tableau 4 : **Analyse du dessin en fonction de la filière (classes de première)**

Les contrastes sont encore plus nets entre ces deux classes. Alors que les résultats obtenus en *Première S option technologie* sont sensiblement les mêmes qu'en seconde (pas de grande différence), il en va autrement en *Première Sciences et Technologies industrielles*. Une résolution du problème posé est obtenue dans plus de 30 % des cas, ce qui va de pair avec la quasi disparition du type « interprétation ». Néanmoins, la tendance à l'approximation est toujours aussi forte, et dans une moindre mesure la simplification, ce qui peut surprendre compte tenu des caractéristiques de cette filière.

7. SECONDE ÉTAPE : APPROCHE COMPARATIVE ET CLINIQUE

Des différences aussi grandes dans les productions ne manquent pas de poser quantité de questions. Pour tenter d'apporter quelques réponses, l'étape suivante met en jeu une approche clinique permettant de prendre en compte, dans le détail, les procédures et démarches mises en œuvre par les sujets pour résoudre le problème, mais cette fois-ci au moyen d'un langage adapté : le schéma cinématique. Seuls les sujets qui maîtrisaient parfaitement les signes graphiques de ce langage ont été retenus, parmi ceux de 1ère exclusivement (32 élèves sur 44), ce qui lève les difficultés concernant la relation code-signifiant. En d'autres termes, le langage que l'on va proposer aux élèves d'utiliser leur est parfaitement connu. Nous aurons d'ailleurs le moyen de nous en assurer.

8. DESCRIPTION DE LA SITUATION DE L'EXPÉRIMENTATION

Le problème consiste à établir un schéma cinématique susceptible de traduire le fonctionnement du mécanisme, sa « fonction technique » plus précisément. Il doit mettre en œuvre les symboles des liaisons mécaniques entre solides. En ce qui concerne le sécateur, seulement deux types de liaisons interviennent : une liaison pivot (à l'image d'une roue autour d'un axe représentée par un petit cylindre dont l'axe est barré de deux traits) et une liaison hélicoïdale (à l'image d'une vis susceptible de se déplacer dans un écrou) représentée aussi par un petit cylindre dont l'enveloppe porte une courbe sinusoïdale, son axe étant libre. Au total, le mécanisme est composé de six liaisons (articulations) : cinq liaisons pivots et une liaison hélicoïdale. Les symboles sont placés dans un espace O(x,y,z) isomorphe à l'objet, ils sont reliés les uns aux autres pour schématiser le montage entre les différentes parties (figure 7).

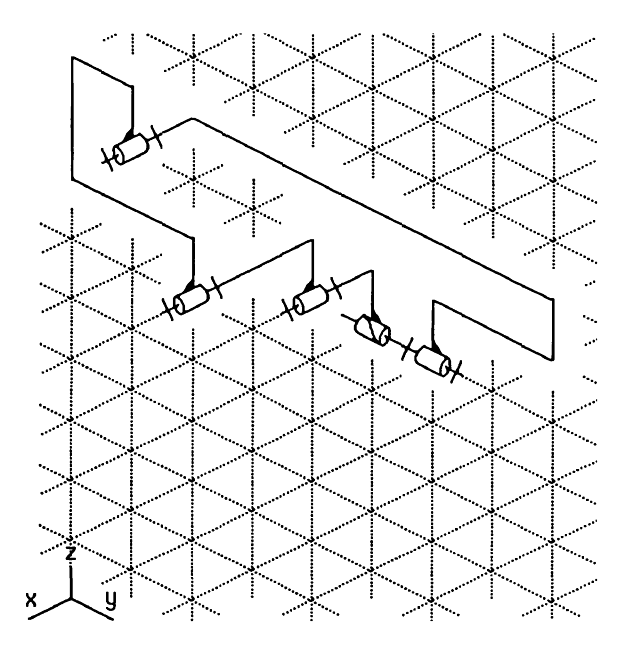


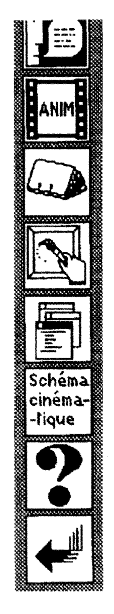
Figure 7 : **Exemple de schéma cinématique du sécateur électronique (résultat obtenu par un élève, copie d'écran)**

Le schéma pris en exemple répond au problème posé, il met en évidence les mouvements relatifs entre les ensembles cinématiquement liés du mécanisme. De l'entrée du mouvement (à droite) vers la sortie on retrouve bien l'axe moteur qui entraîne l'écrou, lequel transmet un mouvement de rotation à la lame mobile par l'intermédiaire des biellettes. Les symboles sont à la fois correctement sélectionnés, disposés, orientés et reliés les uns aux autres. Le schéma cinématique traduit la fonction technique de la partie opérative du sécateur électronique, bien qu'il puisse encore être complété d'un sixième élément en la présence d'une liaison pivot qui aurait indiqué la symétrie des biellettes, visible sur le dessin d'ensemble.

Un contexte bien précis a été élaboré pour parvenir à ce résultat. La situation expérimentale[7] réalisée avec le langage HyperTalk est composite, tout en fixant un but, elle intègre divers éléments. L'espace du problème englobe ainsi des activités de nature différente qui peuvent être organisées en fonction des procédures adoptées, lesquelles sont, bien entendu, enregistrées dans chaque cas. Les sujets disposent seulement du dessin d'ensemble en tant que document « papier », tout le reste est installé sur ordinateur. Le temps est laissé libre, cela ayant été précisé, il varie de 30 à 90 minutes.

La tâche prescrite consiste à établir le schéma cinématique de la partie opérative du sécateur électronique. La consigne dit explicitement que « *pour ce faire, vous avez à votre disposition devant vous le dessin du sécateur avec la nomenclature des pièces, et à l'écran un ensemble de documents à consulter ou à compléter selon vos besoins. Vous procéderez de la manière qui vous conviendra le mieux, à savoir que vous pourrez exploiter la totalité des éléments du dossier ou seulement une partie de ceux-ci, dans l'ordre qui vous paraîtra le plus approprié. Il vous sera par exemple possible de revenir en arrière ou de consulter un même document à plusieurs reprises* ».

7. Elle a été réalisée par Jean-Claude ROBERT, professeur associé à la recherche, décédé en avril 1998. Je tiens ici à lui rendre hommage, et dire combien son aide a été précieuse, tant au plan humain que professionnel. Il a mis en œuvre toutes les qualités qui étaient les siennes pour parvenir à un résultat qu'au départ je n'espérais même pas, y associant son fils Samuel, avec lequel il partageait la même passion.



Ce bouton envoie à la **consigne**

Vers l'**animation** montrant le fonctionnement du sécateur

Consultation du **catalogue des liaisons** mécaniques

Coloriage des différents sous-ensembles cinématiques

Définition de « classe d'équivalence cinématique »

Carte sur laquelle vous réaliserez le **schéma cinématique**

Explications destinées à vous **aider** dans votre travail

Retour à la carte « sommaire »

Figure 8 : **Après la consigne, une carte « sommaire » donne à l'écran la liste des documents disponibles et des étapes possibles**

L'animation montre la transmission des mouvements entre l'entrée du mécanisme et la sortie. Le sujet a la possibilité de mettre en marche ou d'arrêter l'animation en cliquant sur les boutons appropriés. Comme à chaque fois, il a la possibilité de « naviguer » sans avoir à revenir au sommaire, une barre d'icônes est prévue à cet effet. Le catalogue donne la définition des différentes liaisons ainsi que la définition de ce qu'est une classe d'équivalence cinématique. Le sujet choisit sur une liste (barre d'icônes) ce qu'il désire consulter. Pour les classes d'équivalence, le dessin d'ensemble apparaît sur l'écran avec un cadre qui présente six ensembles à compléter. Il suffit de cliquer successivement sur les repères des pièces pour constituer les différentes classes. Une option coloriage donne le résultat sur le dessin en nuances de gris. Les mobilités des liaisons sont caractérisées également à l'entière initiative des sujets. Il suffit de cliquer successivement sur deux ensembles parmi ceux constitués précédemment et de choisir parmi les différents icônes celui qui convient. Le résultat vient s'afficher directement dans un tableau à double entrée. Le schéma cinématique est à construire sur un fond en treillis figurant les trois dimensions identifiées par un repère d'axes X,Y, Z. Sur la gauche de l'écran, le sujet dispose des symboles des différentes liaisons ainsi que d'outils permettant de tracer le schéma cinématique.

L'ensemble des éléments qui composent la situation expérimentale constitue une « base technologique » au sens employé par Poitou & Chabot (1991) et Poitou (2001) évoquant à la fois l'idée d'ensemble de connaissances fondamentales, ou de patrimoine culturel technique, et celle de base de connaissances, au sens informatique. Ces connaissances

(déclaratives et procédurales) regroupent les savoirs enseignés dans le domaine de la cinématique au cours de la première année, voire des deux premières années de lycée dans le cadre des options technologiques. Elles font l'objet de plusieurs modules d'enseignement, cours et travaux dirigés, organisés en une progression relativement stabilisée : repérer les différents sous-ensembles qui constituent un mécanisme, établir des classes d'équivalence cinématique, établir le tableau des liaisons en utilisant le langage iconique, établir un graphe, interpréter ou réaliser un schéma cinématique. La question qui se pose est de savoir comment cet ensemble de connaissances est utilisé, si par exemple la progression mise en œuvre par le maître sera assimilée à une procédure chez les élèves débutants, et ceci en fonction de leur niveau d'expertise du point de vue de l'analyse de la fonction technique de la partie opérative du sécateur.

On peut considérer que la « base technologique » ainsi constituée par tout cet ensemble est complète, du point de vue des savoirs enseignés. Elle offre en plus *la solution* au problème, avec l'animation à l'écran. Tout est en place pour satisfaire à l'hypothèse d'une évolution dans l'étude de la fonction technique. Cette hypothèse est renforcée par le caractère formatif de la situation proposée, le schéma pouvant être produit au terme d'une démarche susceptible d'aider à sa réalisation, démarche qui prendrait alors appui sur la documentation disponible (tableau des liaisons, définitions), la démonstration (animation), les tâches intermédiaires (constitution des sous-ensembles cinématiques, tableau des liaisons). Ceci constitue un ensemble dans lequel puiser des « connaissances » au sens large du terme, dans la mesure où cet ensemble comporte en fait deux bases : une base de connaissances et une base de problèmes. L'hypothèse est d'autant plus forte que ces facteurs sont susceptibles de se conjuguer, et, par conséquent, de provoquer une amélioration tout à fait significative des résultats, là où c'est possible bien entendu. *A contrario*, on ne s'attend nullement à observer des erreurs de même nature entre les deux situations, dessin et schéma.

9. RÉSULTATS COMPARATIFS

Pour un certain nombre de raisons, on s'attendait à des changements de catégories entre le test initial et le schéma : tâches dont la finalité est similaire, poursuite de l'apprentissage entre les deux passations, contextualisation pédagogique de la situation expérimentale. En d'autres termes, si le schéma cinématique intervient effectivement en tant qu'artefact cognitif cela devrait permettre, d'une manière significative, de résoudre les difficultés d'une simple lecture de dessin, non instrumentée. La comparaison se fait donc entre les productions espacées de quelques semaines (dessin à main levée, puis schéma cinématique) réalisées par les mêmes sujets,

32 élèves de 1ère (tableau 5). Le tableau présente en lignes les résultats au test initial, et en colonnes la répartition en fonction du type de schéma cinématique produit.

Schéma : **Test initial :**	Simplification	Approximation	Résolution	Total
Simplification	6	3	0	9
Approximation	0	11	2	13
Résolution	0	1	7	8
Interprétation	0	1	1	2
Total	6	16	10	32

Tableau 5 : **Répartition des 32 élèves soumis au test initial et au schéma cinématique**

Une première observation concerne l'homogénéité du groupe ayant résolu le problème sous les deux conditions (dessin et schéma). S'il en avait été autrement, on aurait pu émettre des doutes quant à la nature de l'expérimentation. En effet, mal construite, elle aurait pu mettre en difficulté des sujets ayant réussi le test initial, ce qui n'a pas été le cas, à une exception près. Si on considère maintenant les changements possibles de catégories, 24 élèves sont concernés (total pour les deux premières et la dernière classe du test initial). Dans 7 cas seulement (29 %) une amélioration s'est produite, mais pour le reste (71 %) il n'y a pas eu changement. Ce résultat paraît surprenant, dans les conditions décrites on aurait pu s'attendre à une proportion pour le moins inversée. Il est donc bien difficile d'accepter l'hypothèse, et la question est de savoir ce qui peut expliquer cette absence d'évolution entre le test initial et le schéma. La première explication peut être recherchée dans la démarche d'élaboration du schéma. Pour l'essentiel, l'effectif qui ne s'inscrit pas dans le sens de l'hypothèse se partage en deux groupes d'effectifs respectifs 6 et 11. Une description précise des différentes stratégies est nécessaire, c'est ce que nous allons voir en prenant appui sur quelques cas.

10. ÉTUDE CLINIQUE COMPLÉMENTAIRE

Cette étude a été faite pour l'ensemble des sujets concernés, mais dans le cadre de cet article, seulement deux cas seront étudiés, pris dans chacune des deux catégories distinctes : simplification et approximation. On s'intéressera en particulier à l'organisation des connaissances et aux procédures adoptées par les sujets.

10.1. Étude d'un premier cas : maintien d'une même forme de simplification

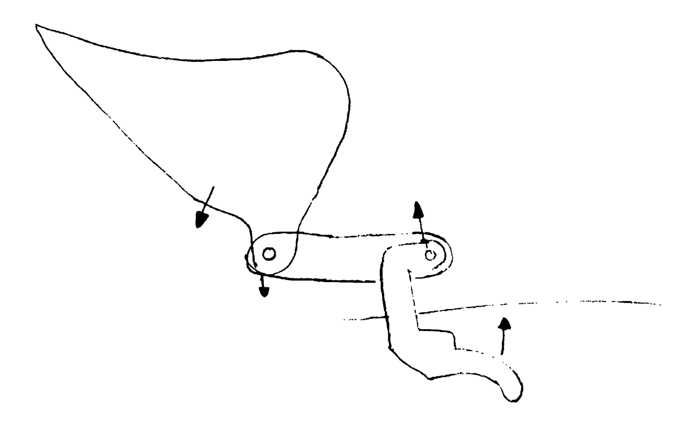
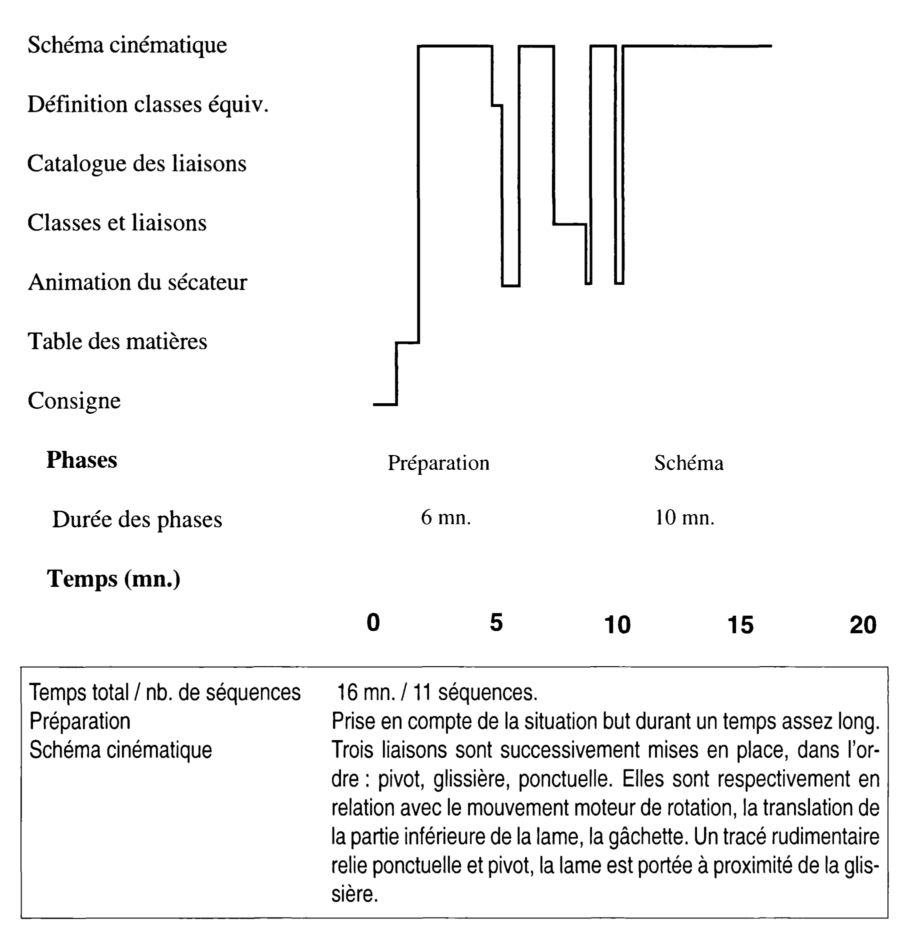


Figure 9 : **Dessin du mécanisme (élève de 1re STI électrotechnique)**

Ce dessin (figure 9) – dont nous avons déjà parlé – présente une vision simplifiée du mécanisme, c'est l'action directe sur la gâchette qui entraîne la fermeture de la lame mobile. Les flèches indiquent bien le mouvement produit, en appuyant sur la gâchette cela procure un déplacement vers le haut et la barre de liaison est animée d'un mouvement de bascule qui provoque la fermeture de la lame mobile. Le déroulement de la procédure mise en œuvre pour le schéma cinématique a été le suivant (figure 10).



Temps total / nb. de séquences	16 mn. / 11 séquences.
Préparation	Prise en compte de la situation but durant un temps assez long.
Schéma cinématique	Trois liaisons sont successivement mises en place, dans l'ordre : pivot, glissière, ponctuelle. Elles sont respectivement en relation avec le mouvement moteur de rotation, la translation de la partie inférieure de la lame, la gâchette. Un tracé rudimentaire relie ponctuelle et pivot, la lame est portée à proximité de la glissière.

Figure 10 : **Procédure mise en œuvre dans le premier cas pour réaliser le schéma**

La prise en compte de la situation but intervient dés le début, le mode d'emploi est soigneusement étudié. L'exploration semble alors se poursuivre au niveau de l'animation et des classes d'équivalence, en même temps que débute le schéma avec un premier symbole.

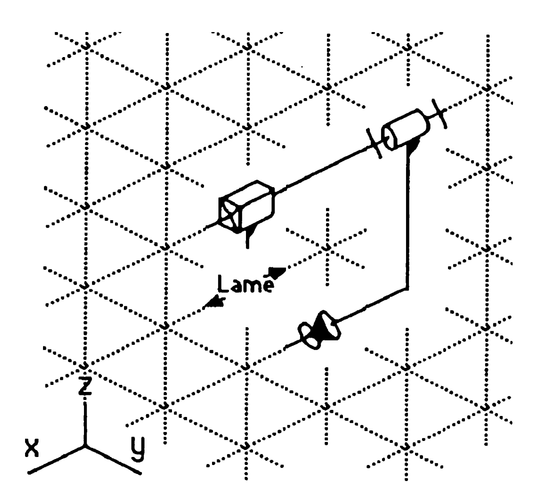


Figure 11 : **Schéma cinématique produit dans le premier cas**

Le schéma est succinct (figure 11), il semble vouloir indiquer seulement l'existence de la gâchette en relation avec l'écrou, et un mouvement de translation en relation avec la lame. La liaison ponctuelle a été introduite comme élément majeur pour symboliser le contact du doigt de l'opérateur sur la gâchette, de manière à agir directement sur la lame. La similitude entre le test initial et le schéma est particulièrement frappante dans ce cas, malgré la prise en compte de l'animation du sécateur (mais en l'absence d'analyse plus fine conduisant à constituer les classes d'équivalence) le point de vue reste strictement identique. On retrouve dans les deux productions la même simplification liée au rôle direct de la gâchette.

10.2. Étude d'un second cas : maintien d'une même forme d'approximation

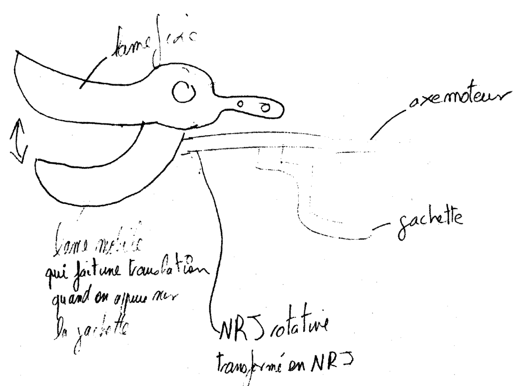
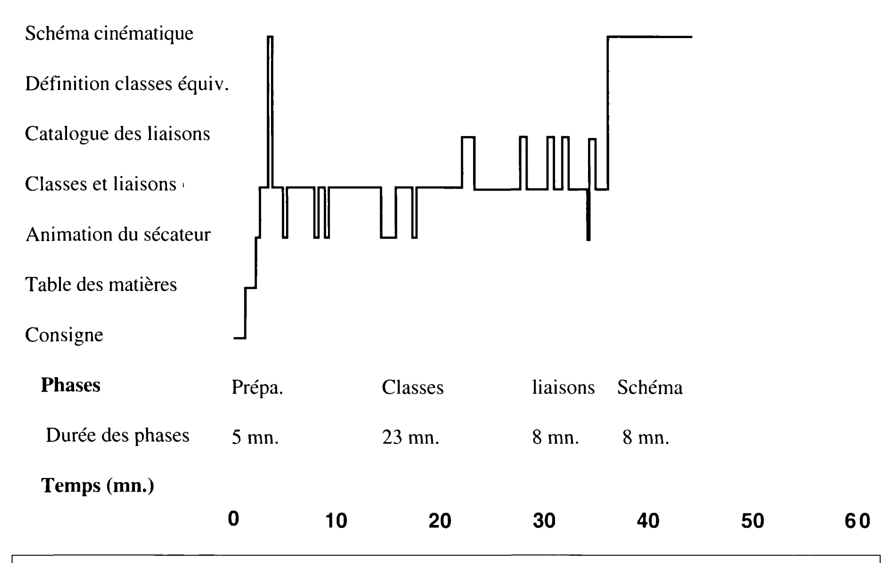


Figure 12 : **Dessin du mécanisme (élève de 1ère S option technologie)**

Dans ce test initial (figure 12), le principe de transformation du mouvement est mentionné « *NRJ rotative transformée en NRJ* » (explication par ailleurs incomplète, le sujet ne se souvenant pas du terme qu'il désirait employer), et situé au niveau de la jonction supposée entre l'axe moteur et la lame mobile. Plusieurs erreurs apparaissent ici. La première concerne la distinction des lames, la lame fixe est confondue avec la partie supérieure de la lame mobile, du coup la lame inférieure devient mobile, à l'inverse de ce qui est indiqué sur le dessin de définition. L'axe moteur est ininterrompu, comme s'il s'agissait d'une seule et même pièce reliant le moteur à la lame mobile, autrement dit les biellettes n'ont pas été repérées comme éléments distincts. La gâchette est collée à l'axe moteur, l'écrou central n'étant pas représenté. Ainsi, en l'absence des biellettes et de l'écrou, la transformation du mouvement est reportée au niveau de la lame mobile. La procédure mise en œuvre en vue du schéma cinématique est la suivante (figure 13).



Tps. / séquences	44 minutes / 27 séquences
Préparation	Elle se caratérise par une prise de contact avec les activités susceptibles d'intervenir dans la réalisation de la tâche.
Classes d'équivalence	La constitution des classes d'équivalence se fait en prenant régulièrement connaissance du fonctionnement du mécanisme. Deux classes successives sont d'abord constituées, la première avec la lame mobile et les pièces fixes, la seconde avec la vis d'entraînement. Dans la première classe les petites pièces secondaires sont ajoutées. A mi parcours, une troisième classe apparaît avec les biellettes, puis trois autres. Six classes sont progressivement constituées : A) Lame mobile, parties fixes et petites pièces de liaison. B) Vis d'entraînement. C) Biellettes et ses deux axes. D) Petites pièces de fixation de la lame mobile aux biellettes. E) Lame fixe. F) Écrou central.

Liaisons	Plusieurs liaisons sont définies entre les classes précédentes, dans l'ordre : pivot entre A & E ; pivot entre A & B ; glissière entre B & F ; glissière hélicoïdale entre C & F. Dans la toute dernière partie, une modification est apportée. La lame fixe est placée avec les biellettes, ce qui réduit le nombre de classes à cinq.
Schéma	Le schéma se fait en plaçant à la suite quatre liaisons, dans le sens entrée du mouvement vers sortie : hélicoïdale, glissière, hélicoïdale et pivot sur un axe différent La lame est située à côté du pivot, l'ensemble fixe indiqué à proximité de l'entrée.

Figure 13 : **Procédure mise en œuvre dans le second cas pour réaliser le schéma**

La procédure suivie est celle enseignée, elle correspond à un sujet novice. L'essentiel du temps est consacré aux classes d'équivalence et aux liaisons. Le schéma cinématique (schéma 14) en est l'application, à ceci près de l'erreur dans le choix du premier symbole (hélicoïdal pour pivot). Une autre erreur de désignation des lames a été faite pratiquement depuis le début. Autres particularités, la traduction visuelle du mouvement de l'écrou central en mouvement glissière, et le report de la liaison hélicoïdale au niveau de la partie écrou-biellettes comme une sorte de traduction littérale de sa définition, conjuguant un mouvement de translation avec un mouvement de rotation.

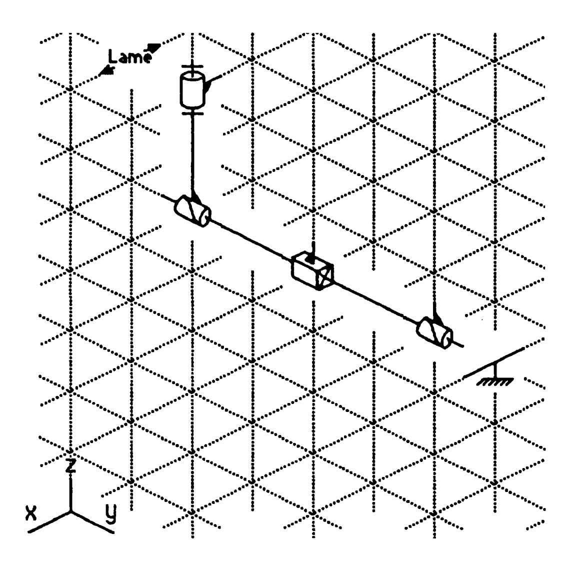


Figure 14 : **Schéma cinématique produit dans le second cas**

Le schéma vient conclure une étude préalable des classes d'équivalence cinématique et des liaisons. En définitive, le schéma apporte peu d'évolution par rapport au test initial. On retrouve la même confusion à l'égard des lames, le même axe central, le même report de transformation du mouvement au contact de la lame mobile. Le schéma reste tout à fait approximatif, comme l'était le test initial. Ceci peut sembler d'autant plus surprenant que l'analyse avait conduit à repérer les éléments en jeu, à distinguer la vis d'entraînement, l'écrou et les biellettes.

11. DÉMARCHES ET PROCÉDURES DE RÉSOLUTION PAR LE SCHÉMA CINÉMATIQUE

Le dispositif expérimental n'est pas un didacticiel, il ne s'agit donc pas d'évaluer la pertinence de l'outil informatique de ce point de vue. Il s'agit au contraire d'un dispositif de recherche dans un cadre bien précis permettant notamment de pister l'ensemble des démarches mises en œuvre par les sujets. L'analyse des protocoles individuels permet la prise en compte explicite des variations inter-sujets et intra-sujets. L'intérêt est moins de constituer une typologie que d'analyser plus finement la manière dont un problème de cinématique est traité, et dont un ensemble de « savoirs enseignés » est organisé et mis en œuvre à cette fin.

1. Dans plusieurs cas, le problème est traité à travers une *procédure alternée* construite sur des allers retours avec l'animation, illustration du fonctionnement du mécanisme aux apparences parfois trompeuses, à en rester là. La procédure s'inscrit en totalité dans une forme d'alternance entre la situation but et l'animation du fonctionnement. Les séquences consacrées au schéma sont assez courtes, l'élaboration se fait de proche en proche, généralement sans retours en arrière (peu de modifications). L'élaboration du schéma traduit le mouvement apparent plutôt qu'une analyse du fonctionnement. C'est notamment le cas avec la traduction du mouvement apparent de déplacement de la partie inférieure de la lame mobile sous la forme d'une liaison glissière. Chaque procédure de ce type se caractérise par une forte analogie entre le test initial et le schéma.

2. Dans d'autres cas, la démarche adoptée est une démarche en apparence de type « expert », qui supposerait des connaissances acquises rendant inutile la prise en compte de parties annexes telles que la constitution des classes d'équivalence, le tableau des liaisons, les définitions, le catalogue des liaisons, la prise en compte du fonctionnement du mécanisme (animation). Elle se caractérise par un plateau, une phase continue au niveau du schéma cinématique. En somme, la démarche peut être qualifiée de *procédure pseudo-experte*. Après une phase de préparation (consigne,

sommaire, définition) l'accès se fait directement au niveau de la situation but, l'activité se déroule à ce niveau, sans aucun recours à d'autres éléments. En particulier, l'animation n'est jamais intervenue. Chaque procédure de ce type se caractérise également par une forte analogie entre le test initial et le schéma. Le schéma cinématique est, dans ce cas, la traduction de l'analyse préalablement effectuée, qui constitue en quelque sorte une forme de connaissance non remise en question.

3. Dans d'autres cas encore, les sujets décomposent la tâche en étapes successives : constitution des classes d'équivalence cinématique en ayant recours à l'animation, définition des liaisons entre les classes en ayant recours au catalogue des liaisons, puis élaboration du schéma. Cette démarche reprend la progression pédagogique, elle correspond en somme à une *procédure d'apprentissage*. Cette procédure est plus ouverte que les précédentes ; certains obtiennent ainsi de bons résultats, d'autres pas du tout en raison soit d'erreurs dans l'établissement des liaisons, soit tout simplement d'interruption plus ou moins franche du travail, comme si ce qui avait été fait permettait de remplir le contrat formel au sens d'un TP d'une certaine durée. Pour ces derniers, l'élaboration du schéma cinématique constituant la dernière phase d'une procédure, qui peut se révéler laborieuse, en reste parfois à une simple tentative.

4. Dans d'autre cas enfin, c'est la situation elle-même qui semble guider le sujet, à l'image de ce qu'on ramènerait en fouillant dans un sac, sans trop savoir quoi y chercher, donnant lieu à une approche peu rationnelle, une *procédure empirique*. Les sujets se trouvent devant une base de connaissances explorable de multiples façons, le sommaire lui-même constitue des « ancres » qui permettent d'accéder à des définitions et à des illustrations ainsi qu'à des exercices partiels. En particulier, le temps passé à consulter les définitions peut être mis en relation, sinon avec une carence dans la connaissance des différents symboles, du moins avec une transformation du but de l'action comme s'il s'agissait d'explorer l'ensemble du dossier et de franchir toutes les étapes avant d'en arriver à la phase ultime, l'élaboration du schéma cinématique.

Ces différentes procédures reflètent assez clairement des différences de statut, de prise en compte du problème par les élèves, et plus largement permettent de discuter la question de la compréhension des représentations graphiques à partir de la thèse vygotskienne d'une instrumentation du psychisme par ces systèmes et celle du processus à l'œuvre dans ce type d'apprentissage.

12. ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Le rapport à l'organisation rationnelle des connaissances constitue le premier aspect de ces résultats. Le choix du « schéma cinématique » pour étudier cette question a répondu notamment à un critère de complétude : il était possible, avec ce sujet, de regrouper l'ensemble des connaissances telles qu'elles sont actuellement enseignées. Et donc de présenter une organisation de ces connaissances qui corresponde à cet enseignement. Les quatre procédures caractéristiques mises en relief se distinguent nettement les unes des autres du point de vue des transformations opérées. Nulle, dans certains cas, lorsque les élèves reprennent à la lettre la progression suivie au cours de leur apprentissage ; manifeste mais inadaptée dans le cas d'une procédure pseudo-experte ; en perte de repères lorsqu'elle devient empirique ; judicieuse et pourtant vouée à l'échec lorsqu'elle se fait procédure alternée. Ces différentes procédures reflètent assez clairement des différences dans la prise en compte du problème par les élèves. Alors que l'objectif visé était la mise en œuvre d'un instrument sémiotique dans une situation lui donnant du sens, ce qui paraît l'emporter c'est la dimension exercices, tâches et travaux d'exécution. Ce qui incite vraiment à s'interroger sur l'organisation fonctionnelle des connaissances qui en a résulté.

Des similitudes intra-individuelles aussi nettes entre des productions de nature pourtant bien différentes (lecture de dessin, schématisation cinématique) ne peuvent se comprendre sans faire appel à des connaissances mémorisées, des heuristiques déjà construites. Le phénomène résiste au-delà de ce que nous avions pu imaginer. En particulier, la séquence d'animation du mécanisme n'a, le plus souvent, rien fait évoluer, tout se passant comme si les sujets s'en tenaient à leur premier niveau d'analyse, même après avoir eu connaissance de la solution du problème sous la forme d'une simulation du fonctionnement. La faible efficience que l'on pourrait, de ce fait, attribuer au schéma cinématique peut s'expliquer par le caractère contextualisé des connaissances. Et en particulier le *contexte interne* (Bastien, 1997) constitué de l'expérience individuelle du sujet, du flux des connaissances à un moment donné, *« cet appel aux connaissances en mémoire, par le contexte, a pour effet de filtrer et de relativiser en les structurant, les données de la situation à traiter.»* (Bastien, 1977, p. 25). Il en résulte une organisation fonctionnelle des connaissances qui présente plusieurs caractéristiques. Un aspect essentiel concerne ce que Bastien nomme le rôle des précurseurs. De ce point de vue, le test initial a eu certainement un effet beaucoup plus important que celui d'une simple évaluation, l'analyse qui a été faite de la typologie, inspirée des travaux de Rabardel (1995) concernant la définition psychologique de la notion d'instrument, montre à quel point le mécanisme étudié a fait l'objet

de représentations très solidement ancrées, jusqu'à ses propriétés, comme le suggèrent Tijus et al. (1996), pour lesquels l'approche de la sémantique des actions[8] est avant tout basée sur une théorie de l'objet et des propriétés attribuées. C'est en fait, probablement, le référent réel, matériel, l'objet « sécateur » qui a pris forme à ce moment là. Le fait d'aboutir à une conception simpliste du mécanisme dans un premier temps a servi de point de départ pour la suite, et a conduit à un résultat identique concernant la tâche que les sujets se sont donnée du point de vue de la phase expérimentale. C'est particulièrement net aussi avec les sujets qui ont d'abord procédé par approximation.

En d'autres termes, tout s'est passé comme si la tâche prescrite qui consistait à établir le schéma cinématique conduisait à adapter cet outil au problème traité préalablement avec le dessin d'ensemble et non à résoudre le problème sur de nouvelles bases avec un outil sémiotique *ad hoc.* Nous serions alors tentés de conclure en la faible valeur de cet artefact cognitif, du moins dans les conditions présentes. Mais les conditions de cette expérimentation sont-elles exceptionnelles ? Elles se sont limitées à associer, à quelques semaines d'intervalle, le dessin technique et le schéma cinématique d'un mécanisme, ce qui est relativement fréquent. Néanmoins, entre ces deux situations les éléments qui ont changé sont nombreux, la médiation informatique absente dans la situation initiale est massivement présente dans la seconde. On pourrait alors formuler l'objection suivante : passer d'un dessin d'ensemble, unique instrument graphique, à un duo dessin d'ensemble & logiciel de schéma cinématique n'introduit-il pas des obstacles trop divers et difficilement appréciables pour donner place à une interprétation à prétention objective ? Le risque est faible, pour plusieurs raisons : la conception du logiciel a cherché à réduire au mieux les obstacles ; le cas échéant l'analyse des protocoles individuels en aurait rendu compte ; peu d'indicateurs ont été recueillis en cours de déroulement d'obstacles éventuels et l'expérimentateur était présent pour y répondre lorsque cela se présentait ; des schémas ont bien été réalisés dans la plupart des cas ce qui n'aurait pu avoir lieu si de réels obstacles avaient été rencontrés ; les élèves sont habitués à travailler sur des postes équipés eux aussi de logiciels. Il en a résulté, par la suite, une redondance et non une reconstruction. Cela rejoindrait-il les observations faites par Séré & Beney (1997) : en TP, les étudiants s'enferment facilement dans des réseaux d'actions, évitant éventuellement de les piloter par des réseaux conceptuels ? Ce serait là une façon assez négative de conclure, si on considérait que ce qui est en cause ce sont des « natures d'élèves ». Il semble plus judicieux de considérer que la variabilité inter-individuelle est la conséquence logique des processus qui gèrent la construction des connaissances.

Au vu de ces résultats, le *contexte interne* aurait donc un « poids » bien réel, beaucoup plus important en tout cas que celui imaginé habituellement dans l'enseignement et la planification des situations d'apprentissage. Dans un cadre assez analogue à celui d'un enseignement, on s'attendait ici à ce que les élèves révisent et modifient leurs représentations initiales à la faveur d'un changement conséquent de l'instrumentation, il n'en a rien été pour la plupart. Mais on ne s'est pas demandé jusqu'à maintenant si l'instrument permettait ce changement de point de vue : outil sémiotique *ad hoc*, en est-on si sûr ? N'y a-t-il pas là à s'interroger sur un plan épistémologique ? Ne pourrait-il pas y avoir un obstacle, au sens de Bachelard, et présence d'une culture de premier aspect, non questionnée comme l'exprime Fabre : « *Et si l'obstacle est* dit *"épistémologique", c'est que les représentations d'élèves ne sont interprétables qu'à partir d'une grille de lecture historique qui les réfère aux hésitations et aux erreurs des scientifiques eux-mêmes, dans la construction du savoir.* » (Fabre, 1977, p. 52). En somme, ce langage occupe-t-il (toujours) une place fondamentale dans le champ des connaissances scientifique et technologique ou bien subsiste-t-il du seul fait qu'il soit au programme ?

13. LA VALEUR DE CES CONNAISSANCES D'UN POINT DE VUE ÉPISTÉMOLOGIQUE

Les bases de la cinématique, en tant que discipline d'enseignement, relèvent en grande partie de connaissances accumulées au fil du temps. L'essor de la « cinématique » s'est fait au travers de débats le plus souvent vifs et passionnés dont on retrouve les traces dans les ouvrages qui traitent de cette science à différentes époques. Ainsi par exemple, au milieu du XIX[e] siècle, vit-on un personnage tel que Laboulaye (1848) s'offusquer de ce qu'en quarante ans, dans le domaine de la cinématique, on se soit contenté de copier un travail ancien sans chercher à l'améliorer, travail jugé insuffisant, conçu sans vues scientifiques et ne pouvant servir à aucun enseignement rationnel [il faisait référence à un ouvrage au titre évocateur : « *Traité complet de mécanique appliqué aux arts ; contenant l'exposition méthodique des théories et des expériences les plus utiles pour diriger le choix, l'invention, la construction et l'emploi de toutes les espèces de machines* » Borgnis (1818)]. Un peu plus tard, au cours de la seconde moitié du XIX[e] siècle, on vit émerger un ensemble de questions qui devait donner lieu à un contre-projet : quelle est la loi qui doit être observée dans le procédé qui sert à combiner un mécanisme ? Une telle loi existe-t-elle, ou doit-on prendre comme point de départ les résultats de l'invention ? Dans ce cas, le problème scientifique se réduirait-il à un procédé descriptif et historique d'analyse de résultats ? (Reuleaux, 1877). C'est sur le terrain d'un véritable

pari que le débat a été engagé : élucider les fondements scientifiques susceptibles de conduire à l'invention plutôt que de s'en remettre au génie des inventeurs, c'est à peine, lui semble-t-il, si l'on trouve quelques traces de recherches destinées à pénétrer « derrière la scène ». Dans le même temps, de nombreuses tentatives ont été faites du point de vue des systèmes de classification des mécanismes élémentaires afin d'établir un ensemble de connaissances organisées. Pour Debauve (1873) notamment, le secret reste dans l'extraction d'un système de classification bien adapté. Avec Reuleaux (ibid.), il s'agit tout au contraire d'établir un langage et une symbolique susceptibles de renouveler l'analyse et l'invention (la synthèse) des mécanismes. Les savoirs à enseigner devant alors se nourrir de ce langage, propre à constituer la science du mouvement des machines, l'intention était bien d'introduire de profondes modifications dans l'enseignement de la cinématique. Projet sans suite (en 1920 pourtant, Bourguignon dit dans son « cours de cinématique » que Reuleaux a donné des mécanismes une étude absolument scientifique, qui a été reprise par Kœnigs, alors professeur de mécanique physique et expérimentale à la Sorbonne), projet malgré tout sans véritable suite si on pense au langage lui-même (langage symbolique voulu tel qu'il tenait à la fois des mathématiques et de la chimie), mais fécond par un certain nombre de concepts toujours d'actualité : liaisons cinématiques, couples d'éléments, chaîne cinématique en particulier. Fécond aussi de par les ouvertures sur un terrain à l'époque encore bien en friche : la synthèse cinématique. Plusieurs ouvrages scientifiques et techniques, et ce, sur une longue période, expriment une adhésion pleine et entière, parfois formulée avec lyrisme, à la définition avancée par Ampère. Reuleaux, pour ne prendre que cet exemple, s'y est référé en ces termes : *« Vers 1830, il se produit, dans l'enseignement des mécanismes, une révolution d'une importance d'autant plus considérable que les bases philosophiques du nouveau système étaient le résultat d'un examen critique approfondi. Ce fut l'œuvre du grand physicien Ampère (essai sur la philosophie des sciences). Cette science devait par la suite aider à définir la machine, non pas comme on l'a fait ordinairement (un instrument à l'aide duquel on peut changer la direction et l'intensité d'une force), mais comme un instrument à l'aide duquel on peut changer la direction et la vitesse d'un mouvement donné »* (Reuleaux, 1877, p. 22). Si la cinématique répond à la définition qu'en donnait Ampère en 1834, définition à laquelle tant de travaux se sont fait l'écho par la suite, est-ce bien là toujours ce qui est à enseigner du point de vue de la formation initiale, avec les concepts et les méthodes qui en ont résulté ?

De fait, *« actuellement, le domaine de l'étude des mécanismes et des machines est en plein développement, parce que les outils de calcul modernes permettent de bien exploiter les résultats classiques dans ce domaine. »* (Arakélian, 1997, p. 10). Il existe notamment des logiciels

(*Dynamic Designer*, par exemple) qui permettent la simulation du fonctionnement des mécanismes et l'exportation des résultats sous forme de fichiers d'animation, de tableaux Excel et de courbes montrant l'évolution de chacun des paramètres dans le temps. La nature du débat a énormément changé, mais ne vit-on pas aujourd'hui sur un stock de connaissances qui est resté le même depuis maintenant plus d'un siècle ? Du moins dans l'enseignement, et c'est ce qui pourrait expliquer que la schématisation cinématique ne soit guère utilisée dans l'industrie.

14. CONCLUSION

Guider efficacement l'apprentissage est bien évidemment une préoccupation majeure des enseignants qui ont à transmettre des connaissances structurées et organisées par des principes généraux en termes de programmes, référentiels, chapitres, questions à traiter et progressions, en bref toute une « organisation rationnelle » des connaissances qui se retrouve dans les situations d'apprentissage. Mais la structuration qui en résulte du point de vue des élèves reste une question largement récurrente, qui ne reçoit le plus souvent que des réponses tout à fait partielles (Brossard, 1999). Aujourd'hui par exemple, des recommandations sont faites concernant l'organisation d'une nouvelle option technologique en seconde (initiation aux sciences de l'ingénieur) sous la forme d'un découpage du processus d'apprentissage en deux temps, l'un consacré à des activités d'élèves dans le cadre de tâches prescrites voulant privilégier une démarche inductive ; l'autre réservé à des activités du professeur œuvrant à la structuration des connaissances : *« les activités pratiques occupent 2/3 du temps, le 1/3 restant étant réservé à des activités de synthèse pour structurer les connaissances et faire émerger les concepts... »* (Bulletin Officiel de l'Éducation nationale, hors-série, n° 6 du 31 août 2000, p. 6). Il s'agit là d'une vision pour le moins fort discutable du processus d'apprentissage, si on ne tient pas compte du rôle essentiel de la résolution de problèmes (Bastien & Richard, 1995), c'est-à-dire de « l'apprentissage par l'action » : *« c'est la résolution de problèmes qui fixe les buts, active les précurseurs et finalement structure la connaissance »* (Bastien, 1997, p. 50). La transformation qui s'opère de la structure présente au sein des activités en une organisation dite « fonctionnelle », si elle rend compte de l'apprentissage par enseignement, n'est pas simple à guider efficacement.

Nous en avons eu un exemple particulièrement significatif. Si la *schématisation cinématique* fait partie intégrante des savoirs enseignés, c'est en tant que langage consacré à l'analyse de la fonction technique des mécanismes. Il devrait en principe conduire à un résultat différent de la

simple lecture d'un dessin d'ensemble, sinon quel en serait l'intérêt ? Or, tel n'est pas le cas ici, l'hypothèse d'une meilleure performance en situation expérimentale ne pouvant être retenue, on devrait être en mesure de conclure à une faible valeur de cet instrument en tant qu'artefact cognitif. Est-ce *l'outil sémiotique* lui-même qui est en cause ? L'explication tient-elle à une méconnaissance du schéma cinématique en tant que tel ? Probablement non, dans la mesure où les sujets ont su maîtriser cet outil, du moins au niveau du langage, les schémas cinématiques renseignant parfaitement sur le point de vue adopté par les sujets, témoignant de l'acquisition de savoirs scolaires, sans pour autant que cela se traduise en acquisition d'expertise.

En adoptant une approche méthodologique orientée vers l'analyse des protocoles individuels et donc l'explicitation des variations inter-sujets et intra-sujets, on retiendra surtout ici la place essentielle du *contexte interne*. En particulier, nous avons vu à quel point le test initial a pu influencer le reste. De même, on peut penser que l'analogie situation expérimentale/ situation d'enseignement a prédisposé les sujets à se placer dans une dynamique d'apprentissage plutôt que d'application, ce qui conduit à évoquer la présence d'un biais de recentrage sur « l'organisation rationnelle des connaissances » portée par la situation d'apprentissage mettant plus ou moins en échec l'opérationnalisation attendue. En d'autres termes, comme le souligne Clot *« la place d'un outil dans l'action est une caractéristique du sujet et non directement de l'artefact »* (Clot, 1999, p. 124), ajoutant à cela que, pas plus que l'artefact n'est en lui-même un instrument, le but de la tâche prescrite ne vaut pour lui-même. Mais c'est aussi la nature même des savoirs enseignés qui est au cœur du débat. D'un côté, la question consiste à caractériser l'enseignement par une approche globale et concrète des systèmes automatisés, qui doit permettre l'acquisition de solides connaissances. De l'autre, dans un univers marqué par l'usage surabondant de modèles graphiques les plus divers, on déplore les difficultés des élèves à s'en saisir en tant qu'instruments sémiotiques. Ce sont les concepts mêmes sur lesquels viennent prendre appui les savoirs enseignés qui demanderaient aujourd'hui un nouvel examen.

NOTES

1. La terminologie est celle des normes (NF X 50 150-153) introduites en analyse de la valeur : la fonction de service est l'action attendue d'un produit (ou réalisée par lui) pour répondre à un élément du besoin d'un utilisateur donné.

2. Dessin d'ensemble : dessin dont le rôle est essentiellement de montrer *le fonctionnement* d'un mécanisme et la façon dont le concepteur a agencé les pièces constituant les solides.

3. Schéma cinématique : modèle destiné à établir une représentation claire du mécanisme étudié afin de mettre en évidence les liaisons mécaniques à un ou plusieurs degrés de liberté intervenant dans la transmission du mouvement entre les solides.

4. « *Tôt ou tard, dans la plupart des domaines, on est forcé de constater que la première représentation géométrique, fondée sur un réalisme naïf des propriétés spatiales, implique des convenances plus cachées, des lois topologiques moins nettement solidaires des relations métriques immédiatement apparentes, bref des liens essentiels plus profonds que les liens de la représentation géométrique familière. On sent peu à peu le besoin de travailler pour ainsi dire sous l'espace, au niveau des relations essentielles qui soutiennent et l'espace et les phénomènes. La pensée scientifique est alors entraînée vers des « constructions » plus métaphoriques que réelles, vers des « espaces de configuration » dont l'espace sensible n'est, après tout, qu'un pauvre exemple* » (Bachelard, 1938, p. 5)

5. « *Pour être conservées et transmissibles, les connaissances doivent présenter un format accessible à tous : leur « organisation rationnelle ». En clair, elles doivent être structurées par des principes généraux qui sont en grande partie extérieurs à leur emploi, la décomposition en parties et sous-parties, par exemple. Et c'est cette organisation qui est nécessairement présentée dans les situations d'apprentissage par enseignement et c'est elle qui, en raison de l'organisation fonctionnelle des connaissances individuelles, subit une transformation au cours de l'acquisition.* » (Bastien, 1997, p. 49).

6. Par « *transfert de connaissances* » Mendelsohn désigne le mécanisme qui permet à un sujet d'utiliser dans un nouveau contexte des connaissances acquises antérieurement. Un apprentissage est possible « *l'apprentissage du transfert (et non plus le transfert comme mécanisme implicite de l'apprentissage) désigne alors les méthodes d'intervention qui favorisent l'émergence de ce mécanisme* » (Mendelsohn, 1996.)

8. « *L'action, représentée sous la forme de buts et de procédures (séquence de sous-buts qui permet la réalisation du but) est considérée comme une propriété attribuée par catégorisation. En effet, l'action n'est pas une propriété de la situation. C'est une propriété mentalement attribuée. Par exemple, un objet rond posé sur une pelouse pourra être catégorisé comme « ballon » avec attribution de propriétés (léger, manipulable, football) dont une action possible « tapez dans ». Ce but ne sera heureusement pas*

activé, s'il s'agit d'un objet rond et noir posé sur les remparts d'un château fort près d'un canon. » (Tijus et al., 1996, p. 210).

BIBLIOGRAPHIE

AMPÈRE A.-M. (1834). *Essai sur la philosophie des sciences, ou Exposition analytique d'une classification de toutes les connaissances humaines.* Paris, Bachelier.

ANDREUCCI C., FROMENT J.-P. & VÉRILLON P. (1996). Contribution à l'analyse des situations d'enseignement/apprentissage d'instruments sémiotiques de communication technique. *Aster* n° 23, pp. 181-211.

ARAKÉLIAN V. (1997). *Structure et cinématique des mécanismes.* Paris, Hermès.

BACHELARD G. (1996). *La formation de l'esprit scientifique.* Paris, Vrin.

BASTIEN C. & RICHARD J.-F. (1995). La résolution de problèmes. In R. Ghiglione & J.-F. Richard (Éds), *Cours de psychologie.* Paris, Dunod.

BASTIEN C. (1997). *Les connaissances de l'enfant à l'adulte.* Paris, A. Colin.

BALLEREAU A.-J., BUSATO J.-P. & TRANIER G. (1994). *Mécanique industrielle.* Paris, Foucher.

BENIELLI G., CERATO G., PRAT D. & VIAL L.-M. (1996). *TSA, technologie des systèmes automatisés.* Paris, Foucher.

BIDEAUD J. & HOUDÉ O. (1989). Le développement des catégorisations : « capture » logique ou « capture » écologique des propriétés des objets ? *L'Année Psychologique*, n° 89, pp. 87-123.

BORGNIS J.-A. (1818). *Traité complet de mécanique appliquée aux arts ; contenant l'exposition méthodique des théories et des expériences les plus utiles pour diriger le choix, l'invention, la construction et l'emploi de toutes les espèces de machines.* Paris, Bachelier.

BOURGUIGNON P. (1920). *Cours de cinématique théorique et appliquée.* Paris, Vuibert.

BROSSARD M. (1999). Apprentissage et développement : Tensions dans la zone proximale. In Y. Clot (Éd.), *Avec Vygotski.* Paris, La Dispute, pp. 209-220.

BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2000). *Hors-série, n° 6 du 31 août 2000.* Paris, Ministère de l'Éducation Nationale.

CAVERNI J.-P. (1988). La verbalisation comme source d'observables pour l'étude du développement cognitif. In J.-P. Caverni, C. Bastien, P. Mendelsohn & G. Tiberghien (Éds), *Psychologie cognitive : modèles et méthodes.* Grenoble, PUG, pp. 123-139.

CLOT Y. (1999). *La fonction psychologique du travail.* Paris, PUF.

DEBAUVE A. (1873). *Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées rédigé conformément au programme annexe au décret du 7 mars 1868 réglant l'admission des conducteurs des ponts et chaussées au grade d'ingénieur.* Paris, Dunod.

EHRLICH M.-F., TARDIEU H. & CAVAZZA M. (Éds), (1993). *Les modèles mentaux. Approche cognitive des représentations.* Paris, Masson.

FABRE M. (1997). Pensée pédagogique et modèles philosophiques : le cas de la situation-problème. *Revue Française de Pédagogie,* n° 120, pp. 49-58.

HILL D.-R. (1997). Technologie. In R. Rashed, *Histoire des techniques arabes : technologie, alchimie et sciences de la vie, vol. 3.* Paris, Seuil, pp. 11-54.

HOUDÉ O. (1992). *Catégorisation et développement cognitif.* Paris, PUF.

JOURDAN L. (1996). Communication personnelle.

LABOULAYE C. (1848). *Traité de cinématique.* Paris, Librairie du dictionnaire des arts et manufactures.

LAFONTAINE D., BLONDIN C., LAFONTAINE A. & CLOSSET J.-L. (1990). Résolution de problèmes d'hydrodynamisme face à un circuit concret. Comparaison avant et après apprentissage. *European Journal of Psychology of Education*, vol. V, n° 4, pp. 517-531.

LAURIER J. (1995). *Les machines de construction de l'antiquité à nos jours. Une histoire de l'innovation.* Paris, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées.

LEBEAUME J. (1999). *L'éducation technologique.* Paris, ESF.

LEUTENEGGER F. (2000). Construction d'une « clinique » pour le didactique. Une étude des phénomènes temporels de l'enseignement. *Recherches en didactique des mathématiques,* n° 20/2, pp. 209-250.

MENDELSOHN P. (1996). Le concept de transfert. In P. Meirieu & M. Develay (Éds), *Le transfert de connaissances en formation initiale et en formation continue. Actes du colloque organisé à l'université Lumière-Lyon 2.* Lyon, CRDP, pp. 11-19.

NORMAN D.-A. (1993). Les objets dans l'action. *Raisons pratiques*, n° 4, pp. 15-34.

PAYNE S.-J. (1991). Interface problems and interface resources. In J.-M. Caroll (Éd.) *Designing interaction. Psychology of human computer interface.* Cambridge University Press.

POITOU J.-P. & CHABOT R. (1991). *Vers un outil de gestion des connaissances* (Texte polycopié). Aix-en-Provence, CREPCO, UA 182 CNRS, Université de Provence.

POITOU J.-P. (2001). Les formations hommes / machines : proposition d'un cadre théorique. In M. Grundstein & M. Zacklad (Éds), *Management des connaissances, modèles d'entreprise et applications.* Paris, Hermès, pp. 150-180

RABARDEL P. (1995). *Les hommes et les techniques.* Paris, A. Colin.

REULEAUX F. (1877). *Cinématique.* Paris, Savy.

RICHARD J.-F. (1992). *Catégorisation et développement cognitif.* Paris, PUF.

ROCHEX J.-Y. (1997). L'œuvre de Vygotski : fondements pour une psychologie historico-culturelle. *Revue Française de Pédagogie,* n° 120, pp. 105-147.

SÉRÉ M.-G. & BENEY M. (1997). Le fonctionnement intellectuel d'étudiants pendant la pratique expérimentale. Observation de séances non préparées de travaux pratiques de DEUG scientifique. *Didaskalia,* n° 11, pp. 73-100.

TIJUS C.-A., POITRENAUD S. & RICHARD J.-F. (1996). Propriétés, objets, procédures : les réseaux sémantiques d'action appliqués à la représentation des dispositifs techniques. *Le Travail Humain*, vol. 59, n° 3, pp. 209-230.

VÉRIN H. (1993). *La gloire des ingénieurs. L'intelligence technique du XVIe au XVIIIe siècle.* Paris, Albin Michel.

VEZIN L. (1993). Schématisation et acquisition des connaissances. *Revue française de Pédagogie*, n° 77, pp. 71-78.

VYGOTSKY L.S. (1934). La méthode expérimentale en psychologie. In B. Schneuwly & J.-P. Bronckart (Dir.), *Vygotsky aujourd'hui.* Paris, Delachaux et Niestlé, pp. 39-47.

Cet article a été reçu le 15/05/2000 et accepté le 20/05/01.